



Regulering af produktionen i biogasanlæg økonomien i forbehandlings- og indfødningssudstyr til anvendelse af dybstrøelse

Hjort-Gregersen, Kurt; Møller, Henrik B.

Publication date:
2014

Document version
Også kaldet Forlagets PDF

Citation for published version (APA):
Hjort-Gregersen, K., & Møller, H. B. (2014). *Regulering af produktionen i biogasanlæg: økonomien i forbehandlings- og indfødningssudstyr til anvendelse af dybstrøelse*. Institut for Fødevare- og Ressourceøkonomi, Københavns Universitet. IFRO Rapport Nr. 231

IFRO Rapport



Regulering af produktionen i biogasanlæg

Økonomien i forbehandlings- og indfødningssudstyr
til anvendelse af dybstrøelse

*Kurt Hjort-Gregersen
Henrik B. Møller*

IFRO Rapport 231

Regulering af produktionen i biogasanlæg: Økonomien i forbehandlings- og indfødningsudstyr til anvendelse af dybstrøelse

Forfattere: Kurt Hjort-Gregersen, Henrik B. Møller

Udgivet juli 2014 i samarbejde med DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi, Aarhus Universitet

Denne rapport er den faglige slutrapport for projektet Regulering af biogasproduktion (Increase and Regulation of Biogas Production), der blev gennemført fra 2010-2013 med støtte fra EUDP programmet EUDP09-II.

IFRO Rapport er en fortsættelse af serien FOI Rapport, som blev udgivet af Fødevareøkonomisk Institut. Se hele rapportserien på http://www.ifro.ku.dk/publikationer/ifro_serier/rapporter/

ISBN: 978-87-92591-50-0

Institut for Fødevare- og Ressourceøkonomi
Københavns Universitet
Rolighedsvej 25
1958 Frederiksberg C
www.ifro.ku.dk

Nationalt Center for Miljø og Energi
Aarhus Universitet
Frederiksborgvej 399, Postboks 358
4000 Roskilde
<http://dce.au.dk>

Forord

Denne rapport er den faglige slutrapport for projektet Regulering af biogasproduktion (Increase and Regulation of Biogas Production, der blev gennemført fra 2010-2013 med støtte fra EUDP programmet EUDP09-II. Projektet ramte plet i en tid hvor biogasanlæggene måtte vænne sig til tanken om i fremtiden at skulle basere produktionen på andre biomasser end organisk industriaffald. Af de oprindeligt fire eksisterende biogafællesanlæg, der deltog i projektet, har de tre modtaget støtte til investeringen i håndterings og indfødningsudstyr til koncentrerede biomasser. Oprindeligt var der en række biomassetyper i spil, men alle tre anlæg har valgt at fokusere indsatsen primært på dybstrøelse fra husdyrproduktionen.

Der sendes en tak til EUDP programmet for støtte til projektet og til samarbejdspartnere i projektet for velvilligt at have stillet sig til rådighed for projektet

Juni 2014

Kurt Hjort-Gregersen

Indhold

Forord / 1

1. Sammendrag / 3

2. Baggrund / 4

3. Formål / 6

4. Udgangssituation for de deltagende anlæg / 6

5. Teknologibeskrivelser og driftserfaringer / 7

6. Vurderinger af potentialet for øget gasudbytte / 17

7. Økonomianalyser for de deltagende anlæg / 23

8. Diskussion af resultater af økonomiberegningerne / 31

9. Perspektiver for biogasbranchen / 31

10. Konklusioner og anbefalinger / 34

Litteratur / 34

1. Sammendrag

Som led i projektet har tre eksisterende biogasfællesanlæg modtaget støtte fra EUDP-programmet til investering i håndterings- og indfødningssystemer til koncentrerede biomasser.

Bånlev biogas etablerede en opriver og et system til oprøring af dybstrøelse i en fortank før indpumpning. Dette system har været i drift i længere tid, og erfaringerne herfra er gode.

Linkogas etablerede en opriver, hvor biomassen efterfølgende snegles ind i en pumpestrøm med varm gylle, hvorefter blandingen pumpes direkte til reaktortankene. Systemet fungerer grundlæggende udmærket, men har vist sig at være særdeles følsomt overfor fremmedlegemer fra biomassen.

Vegger gik skridtet videre og etablerede både opriver og knuser, hvorefter biomassen oprøres i gylle i en ringtank før indpumpning til den nye reaktor. Grundet en række forsinkelser, der især skyldes langsommelig sagsbehandling, kommer systemet først i drift i første halvår af 2014.

Alle tre anlæg har valgt at fokusere på dybstrøelse som den biomasse, der primært skal anvendes i de nye systemer.

Indfødningssystemerne på de tre anlæg har generelt langt større kapacitet end der udnyttes, hvilket har betydning for behandlingsomkostningerne. Investeringerne i indfødningssystemer på anlæggene er generelt ganske rentable.

Koncentrerede biomasser kan med det rette udstyr anvendes til at regulere biogasproduktionen. I første række til at erstatte organisk industriaffald, som det ikke længere er muligt, eller for dyrt, at skaffe, men også i et bredere perspektiv til en sæson- eller døgnregulering af produktionen. Der gælder imidlertid det forhold, at jo lettere omsætteligt den koncentrerede biomasse er, desto mere velegnet til regulering er den. Især ved døgnregulering eller produktion "on demand" skal det nok påregnes, at der må anvendes fx majs, roer eller roetopensilage.

2. Baggrund

Det danske biogasfællesanlægskoncept blev udviklet i begyndelsen af 1980'erne og det første anlæg blev etableret i 1984 i Vester Hjermitlev. Konceptet adskiller sig på flere måder fra, hvad man i øvrigt ser på europæisk og globalt plan. For det første er konceptet kendetegnet ved, at anlæggene behandler husdyrgødning fra en række landbrugsbedrifter. For det andet udnyttes biogasproduktionen altovervejende til kraft-varmeproduktion, hvor varmedelen afsættes til kollektive forsyningsnet, hvorved energieffektiviteten er langt højere, end det er tilfældet mange steder i udlandet, hvor varmeproduktionen sjældent kan udnyttes fuldt ud. For det tredje suppleres husdyrgødningen i danske fællesanlæg med affald fra fødevarerindustrien, men i modsætning til mange andre steder ikke i nævneværdig grad energiafgrøder. Tilførslen af organisk industriaffald har været en afgørende nøgle til de nuværende anlægs relative succes, idet gasproduktionen har kunnet øges ret væsentligt ved tilsætning af affald. I samfundsperspektiv har tilsætningen af affald haft det yderligere formål, at ca. 300.000 ton organisk industriaffald på denne måde årligt har kunnet recirkuleres i stedet for at blive bortskaffet ved forbrænding. Men det betød også, at anlæggene blev økonomisk afhængige af dette affald, en afhængighed, der viste sig at være en akilleshæl, da der omkring årtusindskiftet blev etableret ca. 50 nye gårdbiogasanlæg. Disse anlæg, hvoraf de fleste ikke kunne udnytte og dermed opnå fuld værdi af varmeproduktionen, blev om muligt endnu mere afhængige af tilførslen af organisk industriaffald. Konkurrencen om det affald, der var til rådighed, blev intensiveret, og antallet af mellemhandlere blev øget. Resultatet af denne udvikling blev, at der kom pris på det mest attraktive affald, og modtagebyrerne for resten kom under pres.

Der var dog en kort årrække i midt-1980'erne, hvor biodieselproduktion i Tyskland og Frankrig medførte, at der kom en del biprodukter på markedet i form af glycerol. Samtidig accelererede udbygningen af biogasanlæg i især Tyskland, hvorefter prisen på glycerol steg i en sådan grad, at anlæggene måtte indstille brugen af det.

Siden da blev det i stigende grad klart, at anlæggene måtte begynde at overveje hvilke alternative biomasser, der kunne bringes i anvendelser som erstatning for det organiske industriaffald. Problemet var og er naturligvis størst for de anlæg, der er mest afhængige af det, og som af den ene eller anden grund har sværest ved at skaffe det.

De eksisterende anlæg har imidlertid været mildest talt tilbageholdende med at kaste sig ud i en sådan udvikling. Det er der flere grunde til. For det første er de eksisterende biogasfællesanlæg bygget til at håndtere pumpbart materiale. Desuden er de fleste indrettet med varmevekslersystemer med henblik på varmegenvinding, og lavere viskositet i materialet kan let medføre problemer med at pumpe materialet igennem vekslerne. For det andet er anlæggenes reaktorkapacitet typisk indrettet på relativt let omsættelige biomasser, og har derfor opholdstider på ca. 15 dage for de termofile anlægs vedkommende og 25 dage for de mesofile anlæg. For det tredje kan en større satsning på anvendelse af koncentrerede biomasser medføre behov for nye og relativt omfattende investeringer. Endelig er det svært at komme uden om, at stabile forsyninger med godt affald er både lettere og mere økonomisk attraktivt end bøvlet

med de koncentrerede biomasser, hvilket utvivlsomt har holdt flere af anlæggenes ledelser i håbet om at finde egnet affald, og de har derved udskudt beslutninger om det fremtidige biomassegrundlag.

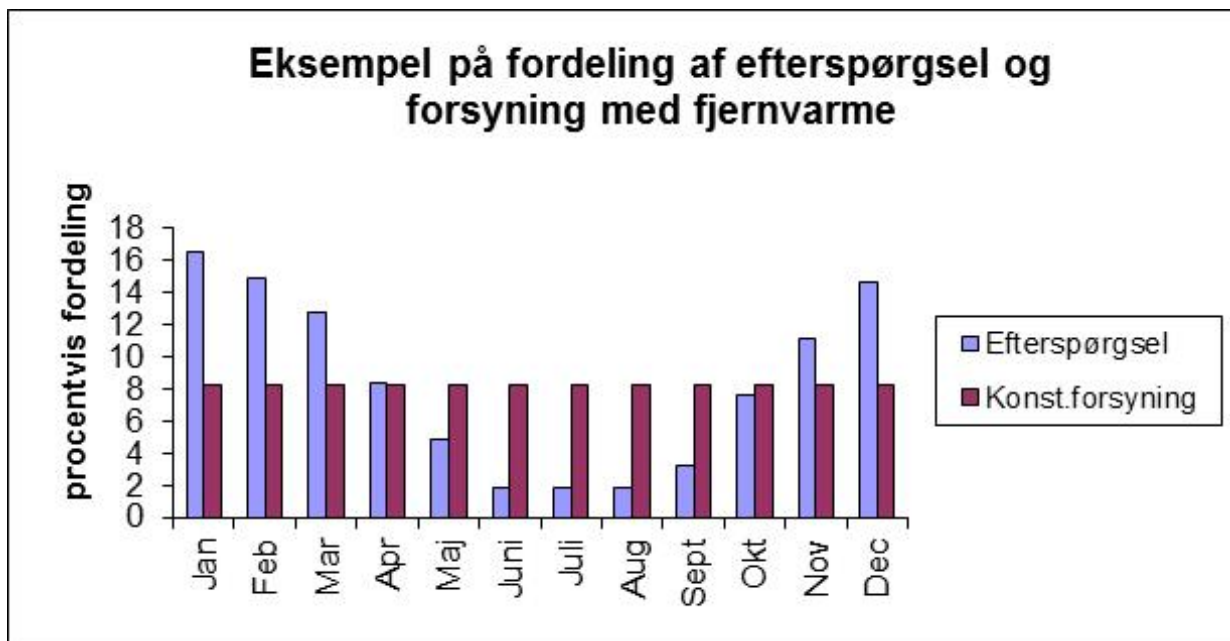
Der er imidlertid ingen vej udenom, hvilket da også var erkendelsen, da de oprindeligt fire eksisterende biogasfællesanlæg ønskede at indgå i demonstrationsprojektet IR – Biogas. Tanken var at basere en demonstration af teknik til indfødnings af koncentrerede biomasser baseret på kendt tysk teknologi. Fra ca. 2005 skete der en bemærkelsesværdig udbygning med biogasanlæg i Tyskland baseret primært på energiafgrøder. Den tyske biogasindustri havde som led i denne udvikling udviklet en vifte af systemer til indfødnings af energiafgrøder i biogasanlæggene, og projektdeltagerne tog udgangspunkt i en formodning om, at disse systemer også kunne løse opgaven under danske forhold

Hidtil er så godt som alle fællesanlæggenes biogasproduktion konverteret til el og varme i motor-generatoranlæg. Såvel el som varmeproduktion distribueres af kollektive forsyningsnet. Almindeligvis tilstræbes det at tilpasse biogasproduktionen til motorens kapacitet, så der produceres jævnt over hele døgnet. Sådan har det imidlertid ikke altid været. De fællesanlæg, der blev etableret midt i 1990'erne, blev udstyret med store lavtryks gaslagre med henblik på, at el- og varmeproduktionen kunne finde sted i dagtimerne, eftersom det dengang var muligt at afregne efter triple-tarif og således sælge den producerede elektricitet, når priserne var højest. Ordningen blev imidlertid afskaffet som led i de ændringer, der fulgte efter liberaliseringen af energimarkedet omkring årtusindskiftet.

Når motor-generatoranlægget således tilstræbes at køre med maksimal belastning hele tiden, vil varmeproduktionen være tilnærmelsesvis konstant. Dette er imidlertid ikke nødvendigvis hensigtsmæssigt, eftersom forbruget af fjernvarme varierer betydeligt over året, hvilket i nogle tilfælde påvirker biogasanlæggets muligheder for at opnå den fulde værdi af energiproduktionen.

Der er stor forskel på, hvor store fjernvarmenet anlæggene forsyner, og dermed i hvor høj grad sommerproduktionen kan udnyttes fuldt ud. Men i de fleste tilfælde vil der være behov for at supplere varmeproduktionen fra andre kilder om vinteren.

Som figur 1 viser, er der et ganske stort optimeringspotentiale i leverance af fjernvarme. Det er kun i ganske få og afgrænsede perioder, at der kan forventes god overensstemmelse mellem produktion og forbrug af varme. Resten af året er der typisk enten overskud eller underskud af varme.



Figur 1. (Kilde: Søren Tafdrup, Energistyrelsen)

Hertil kommer, at elsektoren efterspørger kapacitet til regulerbar elproduktion. Det hænger sammen med de overordnede forsyningsplaner for elektricitet i Danmark, hvor elproduktion fra vindmøller skal udgøre en stadigt stigende andel. Elsektoren vil derfor i perioder have behov for at kunne rekvirere alternativ elproduktion så at sige "on demand" i tilfælde af vindstille. Hvis biogassektoren sættes i stand til at øge produktionen af gas med kort varsel, vil biogas kunne indgå i beredskabet for regulerbar elproduktion på linie med de naturgasfyrede kraft-varmeværker, der allerede i dag mod betaling ofte har kapacitet på stand by.

3. Formål

Det overordnede formål med projektet er at demonstrere, hvordan biogasproduktionen kan forøges og reguleres ved tilsætning af koncentrerede biomasser.

Herunder opstilles følgende delmål:

- At demonstrere egnet teknik til indfødning af koncentrerede biomasser
- At demonstrere mulighederne for at regulere biogasproduktionen på sæsonbasis
- At demonstrere mulighederne for at regulere biogasproduktionen på anfordring
- At analysere driftsøkonomien i de etablerede indfødningssystemer og perspektivere dette for biogasbranchen som helhed.

4. Udgangssituation for de deltagende anlæg

Ved projektets start var der ikke mange aktuelle danske erfaringer med at anvende koncentrerede biomasser til biogasproduktion. Men for år tilbage var der faktisk adskillige fællesanlæg, der modtog det, der dengang blev kaldt staldgødning eller fast møg, som imidlertid hurtigt blev udfaset, eftersom staldsystemer med fast møg og ajle blev udfaset og blev afløst af gyllesystemer suppleret med dybstrøelse i et vist omfang.

Samtidig bredte der sig en opfattelse af, at nøglen til rentabel biogasproduktion lå i at modtage organisk Industriaffald i så store mængder som muligt indenfor de lovgivningsmæssige rammer. Her foreskriver Husdyrbekendtgørelsen en maksimumsgrænse på 25 %.

De eksisterende anlæg er så godt som alle udstyret med for- og blandetanke, hvor gylle og organisk industriaffald blandes og pumpes videre ind i anlægget. Undervejs sker der i nogle tilfælde en hygiejniserende, og i de fleste tilfælde skal den flydende biomasse passere en eller flere varmevekslere på vejen. Disse varmevekslere udgør for mange anlæg en flaskehals eller en barriere for, at der uden videre kan anvendes koncentrerede biomasser, hvilket er en af årsagerne til, at anlæggene generelt er tøvende overfor at tage dem i anvendelse. Det betyder, at det i mange tilfælde vil være nødvendigt med investering i indfødningssystemer, før det kan lade sig gøre.

Det var situationen i 2009, da nærværende projekt om mulighederne for at regulere biogasproduktionen blev formuleret. Der var oprindeligt fire eksisterende fællesanlæg, der var med i projektet, Vester Hjermitzlev Energiselskab, Vegger Energiselskab, Linkogas Amba og Bånlev Biogas A/S. Vester Hjermitzlev Energiselskab trak sig imidlertid fra projektet, da det senere blev klart, at anlægget ikke ville kunne skaffe egenfinansieringen til det indfødningssystem, anlægget skulle anskaffe som led i projektet.

Vegger Energiselskab er det næstældste biogasfællesanlæg i Danmark. Det blev etableret i 1985 med henblik på at forsyne byen med el og varme. Det var fra starten et lille anlæg med stor afhængighed af affald. Oprindeligt blev der anvendt en del blegejord fra spiseoliefabrikation, men senere blev det fedt og fiskeaffald, som det var tilfældet i Vester Hjermitzlev. Konkurrence bevirkede, at det blev vanskeligere og dyrere at få, og selvom der var en periode, hvor glycerin var tidens løsning, blev det gradvist klart også i Vegger, at der skulle ske noget. Man lagde derfor planer om en renovering og udvidelse, ja nærmest en nybygning af anlægget, som så fra starten skulle udstyres med et indfødningssystem som led i nærværende projekt. Udvidelsen blev imidlertid gang på gang forsinket af langsom og myndighedsbehandling.

Linkogas Amba blev etableret i 1990 som et mesofilt anlæg og havde oprindeligt en behandlingskapacitet på 360 ton pr. dag. Anlægget er renoveret og udvidet i flere omgange og behandler i dag over 800 ton pr. dag. Anlægget har generelt været velforsynet med affald, dog har man ikke mønstret så høje gasudbytter som de to gamle anlæg. Ikke desto mindre var den daværende direktør allerede forud for formuleringen af nærværende projekt i gang med mindre forsøg med anvendelse af fx grøde fra å-løb, men også roer ensileret sammen med majs. Tanken var, at indfødningssystemet skulle kunne håndtere en vifte af koncentrerede biomasser, så anlægget kunne modtage, hvad der bød sig af forskellige typer af restbiomasser. Allerede inden indfødningssystemet var installeret, blev der anskaffet et stort antal rundballer, der bestod af græs fra et militærtærræn.

Bånlev Biogas A/S blev etableret af Århus Kommune i 1996 med en behandlingskapacitet på ca. 300 ton pr. dag. Kommunen valgte senere at sælge anlægget til en gruppe investorer, hvorefter anlægget blev videreført under navnet Bånlev Biogas A/S. Anlægget gennemgik en større renovering. Anlægget har generelt været velforsynet med affald, men ledelsen indså tidligt, at det er nødvendigt at tænke på alternativer til affaldsforsyningen, eftersom den gradvist er blevet vanskeligere og dyrere at skaffe. Man vurderede derfor, at der rundt om storbyen Århus meget vel kunne være en betydelig ressource i form af dybstrøelse fra hestehold, som det biomassegrundlag som er anvendt i Bånlevs del af projektet.

5. Teknologibeskrivelser og driftserfaringer

Bånlev Biogas A/S

Beskrivelse af teknologien

Indfødningsystemet hos Bånlev er opbygget med en vertikalblander/opriver af mærket Conrad Pumpe. Den tilførte biomasse, der består af dybstrøelse, fyldes i opriveren med en gummiged (figur 2). Opriveren kan rumme 14 m³, hvilket typisk svarer til 5 ton ad gangen (figur 3).



Figur 2. (Foto: Arne Jensen, Bånlev Biogas)



Figur 3. (Foto: Arne Jensen, Bånlev Biogas)

I opriveren findes et enkelt vertikalt røreværk med knive påmonteret, der langsomt blander og opriver biomassen (figur 4).



Figur 4. Eksempel på knivmontering i en Konrad Pumpe opriver. (Foto: Kurt Hjort-Gregersen)

Herefter snegles biomassen ud og ned i en 250 m³ fortank. Heri sidder en højdejusterbar omrører, der sidder i et rør med det formål at trække biomassen fra overfladen ned og rundt i væsken nedenunder. Desuden er der to dykkede omrørere i siderne. Tanken tilføres ca. 35 m³ gylle pr. batch.



Figur 5. Propelomrør placeret i rør inden montering i blandetanken (Foto: Arne Jensen, Bånlev Biogas)

Eventuelle fremmedlegemer synker til bunds i blandetanken. Figur 6 viser et par eksempler.



Figur 6. (Foto: Arne Jensen, Bånlev Biogas)

Fra denne tank pumpes blandingen nu via en stenfælde og en macerator til anlæggets system af blandetanke (figur 7).



Figur 7. Macerator, rør og pumpe, der sender blandingen videre ind i anlægget (Foto: Arne Jensen, Bånlev Biogas)

Indhøstede driftserfaringer

Det har fra starten været tanken, at indfødningsystemet skulle bruges til dybstrøelse fra hestehold. Umiddelbart ser den ubehandlede dybstrøelse ud til at være tør og meget halmrig. Men når den bliver æltet godt, fremtræder den fugtig og mørkere i farven. Oprivningen tager typisk en time. Den mekaniske bearbejdning udvikler desuden varme. I fortanken fungerer omrøringen rigtig udmærket, og der opnås en god opblanding. Det er erfaringen, at omrøreren skal sidde rigtigt, lige under overfladen, for at kunne trække dybstrøelsen ned. Derfor er det nødvendigt, at den kan justeres i højden. Det er endvidere konstateret, at blandingen ikke må blive for tyk, for så holdes sten og fremmedlegemer flydende, hvorved de risikerer at blive pumpet videre ind i anlægget. Tværtimod er det meningen, at sten og andre fremmedlegemer skal synke til bunds i fortanken, så de kan udtages derfra med mellemrum.

Overpumpning fra fortanken til anlæggets system af blandetanke, der sker ved hjælp af en rotationspumpe, fungerer i det store hele godt. Massen pumpes som nævnt via en macerator og to stenfælder. Der er dog en tendens til, at der lægger sig noget fiber i rørene, når overpumpningen standser. Det problem har man søgt at imødegå ved at etablere en mulighed for at returpumpe.

Der medgår ca. ½ mandtime pr. batch, plus hvad der medgår til service af systemet. Det skønnes, at der bruges ca. 10.000 kr. årligt til reservedele til opriver og omrørere. Et rustfrit pumpehjul koster fx 10.000 kr. og holder knapt et år. I 2012 er der brugt 26.000 kr. til vedligeholdelse af opriver, pumpe og macerator. Der bruges i alt ca. 8 kwh pr. ton, der køres gennem systemet.

Der køres 2-3 batch pr. dag på hverdage, og det skønnes, at der kan behandles op til 2000 ton på årsbasis. Der køres ikke med systemet i weekenderne, fordi der skal være personale til stede, ifald der opstår problemer med systemet. Kapaciteten kunne sådan set godt udnyttes bedre, men man er meget opmærksom på ikke at indføde større mængder i anlægget, end man kan regne med at få med ud igen.

Laboratorieforsøg har vist, at der opnås en gasproduktion på 90 m³ biogas pr. ton ved den aktuelle opholdstid.

Man har gjort sig den erfaring, at det er godt med en stor buffer i forlageret, fordi leverancerne af dybstrøelse tilsyneladende er ret ustabile. Det gælder også om at have en vis kapacitet i tilfælde af driftsstop.

Tanker om fremtiden: Det overvejes, om der skal anskaffes en knuser med det formål at gøre materialet yderligere pumpbart, så der kan håndteres en større mængde i anlægget. Derved kan kapaciteten i indfødningsystemet såvel som i selve anlægget øges og dermed optimeres.

Linkogas

Beskrivelse af teknologien

Indfødningsystemet hos Linkogas er specielt derved, at biomassen efter homogenisering i en vertikalblender/opriver snegles ind i en gyllestøm, hvorefter blandingen pumpes ind i reaktortanken. Opriveren, der er af mærket Vogelsang (figur 8), har en kapacitet på ca. 8 ton i hver batch.



Figur 8. Opriveren før montering (Foto: Kurt Hjort-Gregersen)

I kassen findes to vertikale knivmonterede røreværker, der ælter og opriver den biomasse, der læsses i. En batch kører ½ - 1 time i opriveren, hvorefter massen skubbes ud i en tragt for enden af kassen med to snegle i bunden. De to snegle til udførsel af biomassen ses i figur 9.



Figur 9. Snegle i bunden af opriveren, der fører biomassen ud (Foto: Kurt Hjort-Gregersen)

Sneglene fører derefter biomassen frem mod en rotorpumpe (figur 10), men forinden pumpes der via et loop fra reaktortankene en varm gyllestrøm ind i biomassen, hvorefter blandingen af den nævnte rotorpumpe pumpes via en macerator over i en af anlæggets reaktortanke. Systemet indeholder også en stenfælde.



Figur 10. Rotorpumpen der pumper blandingen af biomasse og gylle videre i systemet (Foto: Kurt Hjort-Gregersen)

Når det kører, har systemet en kapacitet på op imod 8 tons i timen, afhængigt af hvilket materiale det drejer sig om.

Indhøstede driftserfaringer

Tanken med at installere netop det pågældende system var, at det skulle være meget fleksibelt med hensyn til hvilke biomasser, der håndteres. Følgende muligheder har været overvejet:

- Grøde
- Enggræs
- Dybstrøelse
- Roer
- Majsensilage
- Halm

Det ser ud til, at materialet ikke må være for tørt, hvilket er observeret ved halm og relativt tørt enggræs, idet materialet ikke rigtigt vil falde til i opriveren. Bortset fra det, fungerer selve opriveren ganske udmærket.

Systemet, hvor materialet snegles ind i en væskestrøm for at blive pumpet videre, har derimod voldt mange problemer, fordi det er særdeles følsomt overfor fremmedlegemer. Det gælder især, hvor der er tale om metaldele, som har en tendens til at kile sig fast i og under de to udføringssnegle. Desuden er rotor pumpens gummideler meget stærkt udsat for slid og skader på grund af større og mindre fremmedlegemer (figur 11). Ifølge det oplyste skal der for hver 100 ton skiftes gummiklodser på rotoren, hvilket koster 5000 kr. pr gang og 4 timers arbejde. Disse problemer indikerer, at udførelsen af denne del af indfødningsystemet ikke rummer den rigtige løsning for de ovennævnte biomasser, der af og til må påregnes at indeholde fremmedlegemer.



Figur 11. Sliddele i rotor pumpen (Foto: Kurt Hjort-Gregersen)

Til gengæld fungerer doseringen af den væskestrøm, som biomassen skal iblandes ganske udmærket, og der er aldrig konstateret tilbageløb af gylle til opriveren. Det tyder på, at systemet ville kunne løse opgaven ved biomasser, der som hovedregel er fri for fremmedlegemer, som fx knuste roer, majsensilage og græsensilage

Målsætningen er, at systemet skal kunne indføde ca. 50 ton i døgnet. Forudsat at de nævnte tekniske problemer kan løses, kan systemet med den nævnte kapacitet klare opgaven i dagtimerne. Linkogas behandler over 800 ton biomasse i anlægget pr. dag. Og med de forholdsvis begrænsede mængder, der har kunnet indfødtes med systemet, har man hidtil ikke rigtig kunnet konstatere nogen videre effekt på den samlede gasproduktion.

Linkogas kan i eget laboratorium undersøge gaspotentialer i forskellige biomasser. Her har man fundet 50-70 m³ biogas pr. ton enghø.

Anlægget kører termofil drift med en opholdstid på 18 dage. Personalet har det indtryk, at materialet er godt udrådnet, men finder dog af og til halmstrå i varmevekslerne. Vedligeholdelsen har primært været koncentreret om fjernelse af metal fra snegle og udskiftning af dele til pumperotor, men der er også knækket en aksel til det ene røreværk i opriveren. Det skønnes, at vedligeholdelsen vil koste mellem 100.000 og 200.000 kr. på årsbasis med de nævnte mængder.

Der var ikke på forhånd nogen erfaringer med disse ting, så Linkogas måtte prøve sig frem med de forskellige biomasser. Noget af det er registreret i nedenstående skema (figur 12), der sådan set giver et ganske godt billede af hvilke udfordringer, hver enkelt biomassetype byder på.

Matriale	Tidsforbrug				Strømforbrug Kwh			Indfødningsmængde			konklusion
	mix	Omrøring	Indfødnings	Tid total	Omrøring	Indfødnings	I alt	I alt	Ton/time	Kwh/ton	
Høballe/svinefiber	1/6	30min	60min	1t 30min	109	58	167	6,7ton	4,46ton	24,9	Høballe er svære at neddele i en vertikalblander og vejer for lidt, derfor blandet med fiberfraktion.
Fast møg		10min	20min	30min	10	31	41	5ton	10ton	8,2	Møg kan indeholde sten /jern/snor som gør det bøvlet at få det igennem indføderen.
Hø nedelt(rodknuser)			40min	40min		34	34	2,5ton	3,78ton	13,6	Høballe neddelt ved hjælp af rodknuser monteret med jerndetektor, derfor ingen jern.
Majs			40min	40min		33	33	6ton	9ton	5,5	Indfødningsystemet fra Vogelsang kører godt med majs.

Figur 12.

De anførte høballe var rundballe presset af ekstensivt græs fra et militærterræn. Tørstofindholdet blev ikke målt, men de virkede ret tørre. Ikke desto mindre var der en del af dem, der tog varme og dermed tab af tørstof. Det viste sig, at de var for tørre og lette til, at de uden videre kunne håndteres i blanderen, og de blev derfor blandet med andet materiale. I den del, der er vist i tabel 1, var det fiberfraktion fra separeret svinegylle. Det fremgår, at tidsforbrug til blanding og indfødnings ligesom elforbruget er betydeligt større end ved de øvrige biomasser.

Med hensyn til fast husdyrgødning synes blanding og indfødnings at glide nogenlunde, med mindre der findes fremmedlegemer i materialet. Det må der ganske enkelt ikke være, såfremt indfødnings skal ske med det nuværende indfødningsystem.

Der blev også gennemført et forsøg, hvor de nævnte høballe blev neddelt i en rodknuser. Det var efterfølgende noget lettere at få dem gennem indfødningsystemet, også med lavere energiforbrug. Det skyldes bl.a. at eventuelle fremmedlegemer også var neddelt og derfor kunne passere systemet. På sigt er

denne løsning imidlertid næppe heller optimal, da de nu neddelte fremmedlegemer fortsat vil slide på pumpehjulene og formodentlig hobe sig op i reaktortankene.

Endelig blev der også kørt majsensilage igennem, hvilket ikke overraskende forløb glat, eftersom det normalt er frit for fremmedlegemer, og systemet er velafprøvet med majsensilage i Tyskland.

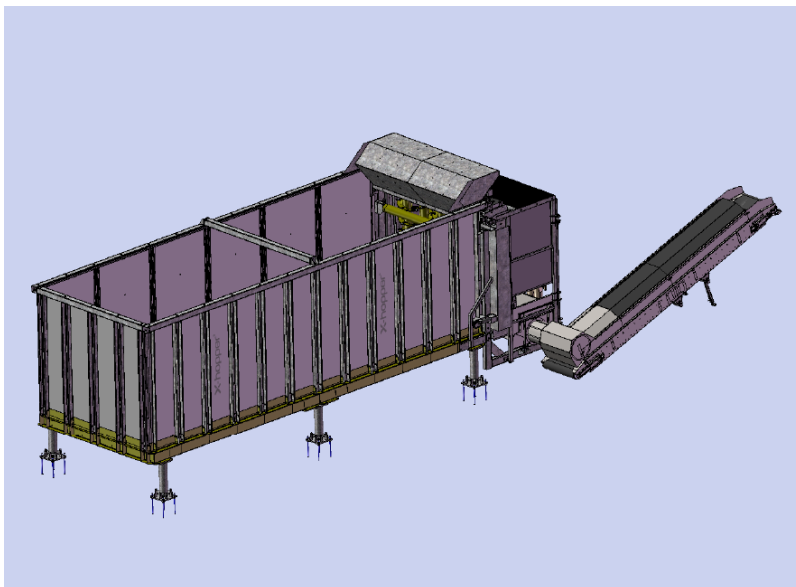
Konklusion vedrørende indfødningssystemet på Linkogas: Systemet fungerer fint med majsensilage, og formentlig også andre let håndterbare biomasser, når bare der ikke er fremmedlegemer i. Hvis der derimod er fremmedlegemer i, er der alt for mange stop og meget stort slid på dele af systemet. Eftersom Linkogas ikke satser på anvendelse af energiafgrøder, men derimod på dybstrøelse og andre restbiomasser, må det konkluderes, at indfødningssystemet i dets nuværende udformning ikke er optimalt til opgaven.

Vegger Biogas

Beskrivelse af teknologien

Vegger Biogas går skridtet videre end de to øvrige anlæg, idet indfødningssystemet omfatter en neddeling af dybstrøelsen, som er det substrat, der forventes anvendt i Vegger.

Der installeres en såkaldt X-Hopper (figur 13), som er en stålkasse på 62 m³. Kassen har "walking-floor", som fører dybstrøelsen bagud mod 3 lodret stående opriver, hvilket i princippet minder om systemet, der anvendes til spredere af staldgødning og dybstrøelse. Omdrejningsretningen på opriverne kan om nødvendigt varieres, fordi store klumper, snore eller reb ellers kunne medføre driftsstop.



Figur 13. X-Hopper. Opriver med walking-floor og fremføringsbælte (Kilde: Xergi)

Herfra snegles dybstrøelsen ud på et bånd, der fører den hen til den såkaldte X-Chopper (figur 14), der er en nyudviklet kædeknuser, der i denne version fungerer ved kontinuert drift. Fra knuseren ledes

dybstrøelsen ud i en ringkammertank. I knuseren vil alle fremmedlegemer være kraftigt neddelt, og det er forventningen at de vil falde til bunds i ringkammertanken, som lejlighedsvist kan tømmes for bundfald. Systemet forventes derfor at kunne håndtere fremmedlegemer i et vist omfang, uden at de medfører driftsstop eller pumpes ind i reaktortanken.

Dybstrøelsen røres i ringkammertanken op med gylle fra den inderste del af tanken til et forlager på 1300 m³. Herfra pumpes blandingen til særlige opvarmningsmoduler før indpumpning til reaktortanken.

Systemet forventes at have en kapacitet på 8-10 ton pr. time, men indtil videre forventes kun behandling af 20 ton dybstrøelse pr. dag.

Systemet forventes i drift i juni 2014 i forbindelse med færdiggørelsen af den omfattende renovering og ombygning, anlægget har gennemgået. Derfor er der endnu ikke driftserfaringer fra Vegger. En prototype har imidlertid været i drift i Vester Hjermitslev på anlægget der. Her er der udført afprøvninger og modifikationer af komponenterne, så Vegger har fået et færdigudviklet system.

Systemet er udviklet og leveret af det danske firma X-ergi.



Figur 14. X-Chopper. Kædeknuser (Foto Xergi)

6. Vurderinger af potentialet for øget gasproduktion

Biomasse til sæsonregulering

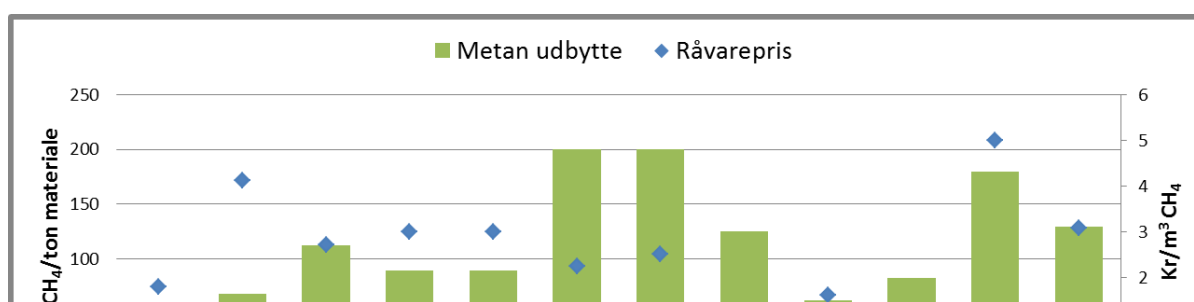
Der findes en række biomasser, der kan anvendes til sæsonregulering af anlæg, der drives på en basis-biomasse bestående overvejende af gylle. I tabel 1 er vist en liste over anvendelige biomasser samt lidt om disses lagerstabilitet, da de jo skal gemmes til vinterbrug, og hvorvidt de belaster anlægget meget eller lidt med kvælstof.

De mest velegnede biomasser har en hurtig omsættelighed, et højt gaspotentiale, en høj lagerstabilitet samt et lavt kvælstofindhold. Biomasser med disse egenskaber vil dog oftest have en høj pris, hvilket betyder, at valget bliver en afvejning mellem kvalitet og pris og dermed også lidt af, hvor stor en risiko man tør tage i forhold til kvælstofbelastningen, idet der kan opstå hæmning af processen, ifald kvælstofbelastningen bliver for høj.

I figur 15 er metanudbyttet og råvareprisen for et udsnit af biomasser illustreret. De langsomt omsættelige afgrøder og gødningsprodukterne har en lavere pris end de hurtigt omsættelige afgrøder som roer og majs. Men til gengæld er omsætningshastigheden lav, og disse biomasser er derfor ikke ligeså velegnede til sæsonvariation.

Tabel 1. Potentielle biomasser til sæsonvariation mht. lagerstabilitet og kvælstofindhold

Type	Produkt	Lager-stabilitet	Kvælstof-belastning
Hurtigomsættelige afgrøder	Roer	Mellem	Lav
	Majsensilage		Lav
	Græsensilage		Medium
	Græs/kløvergræsensilage		Medium/høj
Langsomomsættelige afgrøder	Halm	Mellem	Meget lav
	Enggræs		Medium
Gødningsprodukter	Kyllinge-dybstrøelse	Lav	Meget høj
	Kvæg-dybstrøelse		Høj
	Gyllefibre		Høj
Affaldsprodukter	C5 melasse (inddampet)	Høj	Lav
	Glycerin		lav



Figur 2. Metanudbytte og råvarepris for et udsnit af biomasser

Figur 15. Metanudbytte og råvarepris for et udsnit af biomasser

Figur 15. Metanudbytte og råvarepris for et udsnit af biomasser

Til døgnvariation vil kun de hurtigt omsættelige råvarer være velegnede. Affaldsprodukter som glycerin har i dag en markedspris, der er så høj, at det oftest ikke er rentabelt at anvende. Husholdningsaffald vil i fremtiden sikkert kunne være en relevant biomasse, og da den primære omkostning ligger i indsamlings- og sorteringsleddet, vil størstedelen af omkostningen sikkert blive dækket af kommunerne, der ser biogas som et miljøvenligt alternativ til forbrænding.

Gylleseparation og gaspotentialer

Der er generelt stor interesse for at anvende fiberprodukter fra gylleseparation til at øge gasudbyttet og sæsonregulere med. Det var for Veggens vedkommende den oprindelige intention at modtage fiberfraktion fra en række svineproducenter. Integrering af gylleseparation og biogas på nye måder vil kunne øge gasudbyttet fra biogasanlæg. Der er imidlertid en række forhold, der skal tages i betragtning af procesmæssig karakter, ligesom det er væsentligt at kende effekterne af, hvilken type gylleseparation der anvendes. Den valgte separation bør vælges efter, at den skal kunne opfylde formålet bedst muligt til den lavest mulige pris. Formålet med for-separationen på gårdene i relation til biogas er at overføre så stor en andel af gyllens tørstof som muligt til en lille tørstofrig fraktion, således at så meget som muligt af gyllens biogaspotential bevares. Hertil kan anvendes en række separationsteknikker, hvor de vigtigste med et udsnit af leverandører af teknologien er vist i tabel 2. Nogle af teknologierne kombinerer flere teknikker.

Tabel 2. Udsnit af teknologier og leverandører

Teknologi	Firma/leverandør
Skruepresse	Swea, Fan, Samson

Centrifugering (dekanter)	GEA westphalia, Peralissi, Alfa laval.
Flokkulering	Kemira, AL2
Kombination af teknologier	Purliq, Starring

Ved Danmarks JordbrugsForskning er gasudbyttet i en række faste produkter fra gylleseparation blevet undersøgt og sammenlignet med udbyttet i rågylle. Gasudbyttet i såvel rågylle som de faste produkter er afhængig af dels omsætteligheden af det organiske stof og tørstofindholdet i den på gældende biomasse.

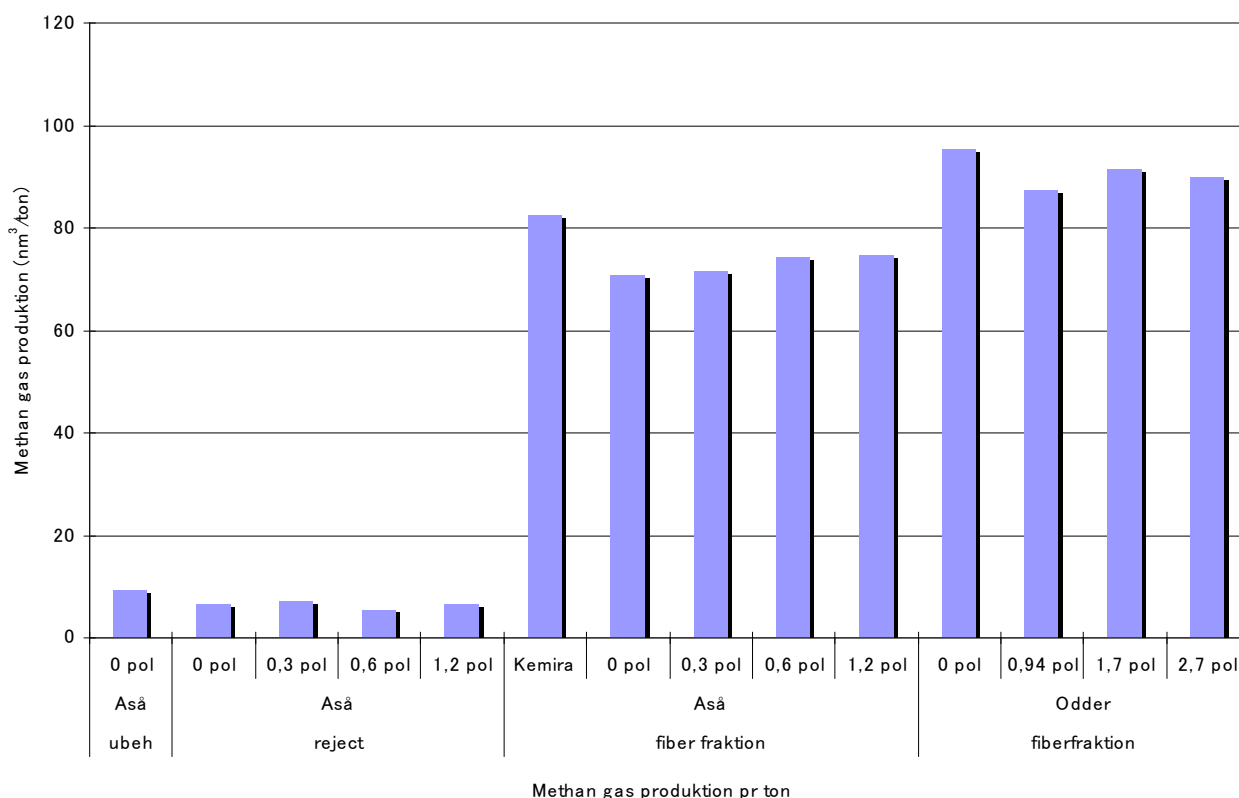
Resultaterne af de forsøg, der er blevet udført med gaspotentiale af gyllefibre, har ikke været 100 % entydige, eftersom der har været stor variation mellem resultaterne fra forskellige undersøgelser. Dette hænger blandt andet sammen med, at resultaterne afhænger af beskaffenheden af den gylle, der har været anvendt til separationen. I tabel 3 er resultaterne af forskellige undersøgelser opgjort. Det fremgår, at der er stor variation i gasudbytterne og at flokkulering med polymer med efterfølgende afvanding og centrifugering med dekanter giver den bedste separation og gaspotentiale. Separationen ved anvendelse af skruepresse kan give en fiber med et metanudbytte der er fornuftigt, men separationseffektiviteten er meget ringe, hvilket betyder, at den mængde fiber, der vil kunne leveres fra en given husdyrproduktion, er meget lav sammenlignet med anvendelsen af andre teknologier. Resultaterne i tabel 3 er udregnet under gunstige procesforhold med meget lang opholdstid. Ved mesofil eller termofil drift med opholdstid under 30 dage kan kun forventes 85 % af dette udbytte.

*Tabel 3. Separationseffektivitet og gasudbytter af forskellige teknologier. * Gasudbytter er angivet ved omsætning i reaktor med meget lang opholdstid.*

Teknologi	Firma/leverandør	Separations-effektivitet af tørstof	Tørstof indhold i fiber	Gasudbytter	Gasudbytter*
		%	%	Liter CH ₄ /kg VS	Nm ³ CH ₄ /tons
Skruepresse	Swea, Fan, Samson	10-30	30-40	150-200	36-64
Centrifugering (dekanter) +/-polymer	GEA westphalia, Peralissi, Alfa laval.	50-80	25-32	200-320	40-90

Aarhus Universitet har gennemført en række detaljerede separations- og biogasforsøg med hhv. flokkulering og centrifugering af to svinegylletyper med varierende tilsætning af polymer. Forsøgene er udført ved to bedrifter i hhv. Aså og Odder med GEA dekanter-centrifuge: Aså med type: UCD 345 og Odder med type: UCD 305 "kokrodille". Anvendt polymer: RA 20-08 YF (Bo Jensen, vandbehandling). Gylletype ved Aså var meget tynd gylle medens gyllen ved Odder var mere "normal". I biogasforsøgene med gylle fra Odder er det kun den faste fraktion, der er kørt forsøg med, medens der ved forsøgene med gylle fra Aså endvidere er kørt test med rågylle før centrifugering samt en fraktion, der er kørt igennem et Kemira-anlæg i en parallel test. Udbyttet i fiberfraktionen er på et højere niveau end tidligere vist i test med dekanter, og for gylle fra Aså er niveauet det samme som i separation ved Kemira-anlæg. I gylle fra Aså er udbyttet på samme niveau som det, der normalt opnås i rågylle. Forsøgene peger på, at det tørstofrelaterede biogasudbytte stiger med stigende polymertilsætning i gylle fra Odder, medens det i gylle fra Aså kun stiger til et vist niveau af polymer.

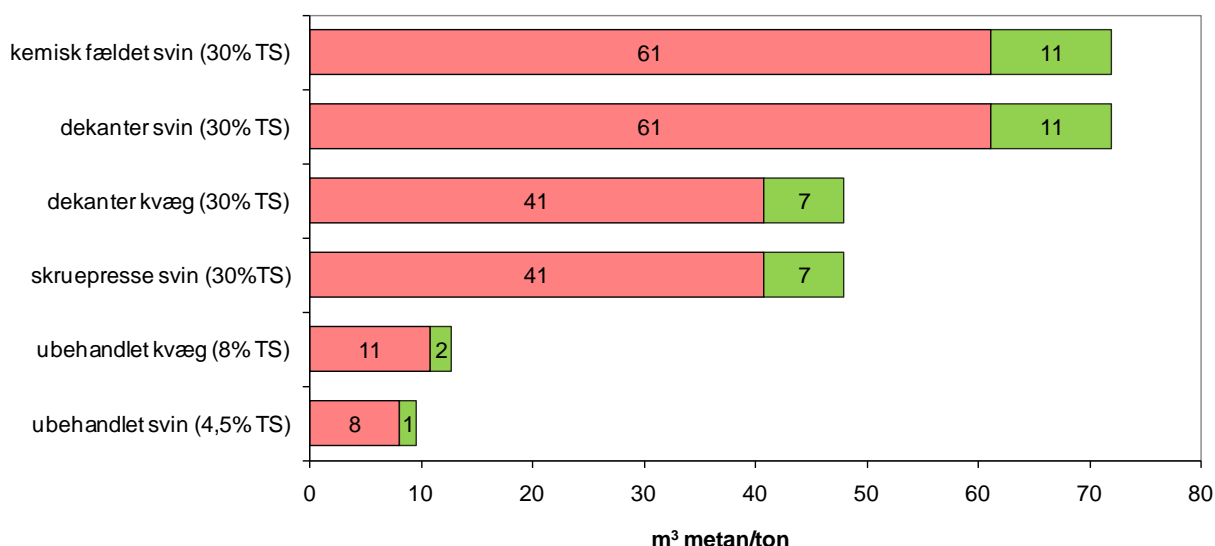
I figur 16 er udbyttet angivet som metan-udbytte pr ton materiale. Udbyttet i fiberfraktionen er mere end 7 gange større end i rågylle. Rågylle, der er anvendt i dette forsøg, er forholdsvis tørstoffattig, men også hvis der sammenlignes med normal svinegylle, er udbyttet i fiberfraktionen mere end 4 gange højere end tilsvarende gylle.



Figur 16: Metan-udbytte pr ton materiale (friskvægt) i rågylle, reject og fiberfraktion

Dette tyder på, at der kan være en lille positiv gevinst på metan-udbyttet ved anvendelse af polymer, men det højere tørstofrelaterede potentiale bliver delvis tabt ved, at tørstofindholdet i fiberfraktionen bliver lidt lavere med polymer. Den vigtigste egenskab ved polymeren er imidlertid den væsentligt større andel af gyllens organiske stof, der overføres til fiberfraktionen. Der er lidt højere udbytte af Kemira-fiberen i forsøgene i Aså, hvilket skyldes, at tørstofindholdet (24 % VS) er højere i Kemira-fiberen sammenlignet med fibre med polymer ved centrifugering (20-22 % VS).

I figur 17 er givet nogle eksempler på gasudbyttet i gylletørstof fra separation i sammenligning med rågylle. Det fremgår af figuren, at der kan opnås op til 6 gange højere gasudbytte pr ton biomasse i kemisk fældet tørstof og dekanteret tørstof fra svinegylle sammenlignet med rå svinegylle under de givne forudsætninger med tørstofindhold.



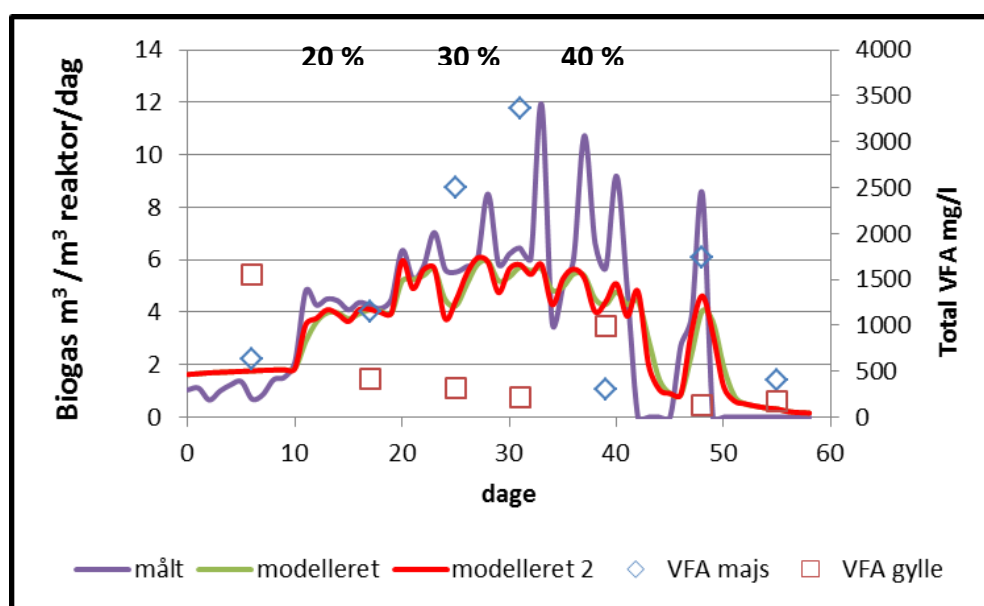
Figur 17. Eksempel på biogaspotentialer i gylle og en række gylletørstofprodukter fra gylleseparation, hvor separationen er optimeret. Den første del af udbyttet (rødt) er det udbytte, der forventes at kunne opnås ved normal mesofil eller termofil drift, medens den sidste del af udbyttet kun opnås ved meget lang opholdstid.

Erfaringer og laboratorieforsøg med sæsonregulering

I praksis er der forholdsvis få erfaringer med sæsonregulering i større stil, hvilket sikkert primært skyldes, at der mangler viden om, hvorvidt processen kan klare hurtige skift af den organiske belastning, og fordi de økonomiske incitamenter oftest ikke har været til stede. I projektet er processen ved en hurtig øgning af den organiske belastning med majs som biomasse blevet undersøgt. Forløbet er illustreret i figur 18. I

forsøget blev belastningen med majs gradvist øget, først til 20 % og derefter til 30 og 40 %. Processen reagerede med stigende gasproduktion, og inden for det første døgn blev gasproduktionen fordoblet. Samtidigt steg indholdet af flygtige fede syrer (VFA). Indholdet af VFA toppet efter 20 dages majstilsætning til et niveau på 3.500 mg/liter ved en majsdosering på 30 %, hvorefter indholdet af VFA begynder at falde. I praksis vil de fleste anlæg sikkert holde igen med doseringen som følge af det stigende VFA-indhold. Men forsøget viser, at niveauet stabiliserer sig selv. I forsøget opnås der tæt på en tredobling af gasproduktionen i løbet af 30 dage, hvilket viser, at der er meget gode muligheder for hurtigt at opregulere gasproduktionen. I forhold til døgnregulering viser forsøget ligeledes, at gasproduktionen på mindre end et døgn kan fordobles. Udover målingerne af gasproduktionen er produktionen forsøgt modelleret med to modeller. Forsøget har vist, at den modellerede gasproduktion er lavere end den faktisk målte, hvilket tyder på, at der har været opnået en vis grad af synergi ved blanding af de to produkter.

Det kan således konkluderes, at der er forsøgsmæssigt belæg for, at sæsonregulering og døgnvariation af biogasproduktion ved varieret tilførsel af biomasse – i denne sammenhæng energiafgrøder – er mulig og kan praktiseres i et betydeligt omfang, hvis dette er energi- og /eller økonomisk interessant. Det vurderes, at mere letomsættelige biomasser såsom majs, roer og roetopensilage er mest velegnede til især døgnregulering eller produktion "on demand", hvorimod andre restbiomasser såsom enggræs, dybstrøelse og halm kan anvendes til at regulere produktionen, efterhånden som affaldskilderne svinder ind.



Figur 18. Forsøg med anvendelse af majs til regulering af gasproduktion. Model 1 = gas fra majs over 3 dage, Model 2= gas fra majs over 2 dage. Majs: 320 L CH_4/kg VS, Gylle: 290 L CH_4/kg VS.

7. Økonomianalyser for de deltagende anlæg

Som udgangspunkt kan det for alle tre anlægs vedkommende forudsættes, at tilførslen af koncentreret biomasse vil fortrænge en tilsvarende mængde mindre værdifuld biomasse, typisk tynd svinegylle. Så længe der kun tilføres begrænsede mængder af koncentreret biomasse, kan det derfor antages, at behandlingsomkostningerne i selve anlægget er uændrede. Ved større mængder, der medfører et tykkere substrat generelt, vil omkostningerne pr. ton gradvist stige.

Der er derfor i nærværende analyser anlagt en marginalbetragtning, hvor der alene regnes på meromkostninger ved anvendelse af indfødningssystemet og merindtægten, der kommer ud af det.

De tre anlæg kan med rette opfattes som pionerer på området, i hvert fald i dansk sammenhæng, hvor erfaringerne med udstyr og især halmrig biomasse på forhånd var begrænsede, men hvor risikoen for ophobning af flydelag i reaktorerne er velkendt og noget, som de fleste praktiske biogasfolk har respekt for. Måske er det derfor, at alle tre anlæg har lagt ud med relativt lave ambitioner mht. de mængder, som det fra starten var hensigten at anvende. Det betyder, at kapaciteten på det opstillede indfødningssystem i alle tilfælde synes potentielt at kunne udnyttes noget bedre, hvilket også har den konsekvens, at de beregnede omkostninger, målt pr. ton, er betydeligt højere, end de ville være ved en mere optimal kapacitetsudnyttelse.

I nedenstående beregninger er det for forenklingens skyld forudsat, at anlæggene i udgangssituationen alene behandler gylle, således at det er den mindst attraktive del af gyllen, der erstattes af dybstrøelse. I virkelighedens verden ønsker man imidlertid at anvende dybstrøelse eller andet, fordi man ikke længere har mulighed for at skaffe tilstrækkelige mængder organisk industriaffald. De anvendte forudsætninger mht. gaspotentiale er en kombination af tabelværdier og erfaringstal fra anlæggene selv.

Den forudsatte udgangssituation er således ikke anlæggenes reelle udgangssituation, men en tænkt situation, hvor anlæggene forudsættes drevet uden organisk industriaffald, men med forskellige gylletyper.

Bånlev

Bånlev har investeret i alt ca. 2 mio. kr. i indfødningssystemet. Nedenstående økonomiberegninger er baseret primært på de erfaringer, der er gjort med systemet, der nu har været i drift i flere år, men der er også anvendt tabelværdier. Erfaringerne med systemet er overvejende positive. Tabel 4 viser forudsætningerne i udgangssituationen.

Tabel 4. Biomasse og gasproduktion, Bånlev i forudsat udgangssituation. Daglig mængde

Kun gylle	Ton	TS %	Tons TS	VS %	VS kg	CH ₄ /kg VS	CH ₄	m3 biogas
Sogylle	50	3,5	1,75	0,8	1400	0,3	420	646
Slagtesvinegylle	300	5,5	16,5	0,8	13200	0,3	3960	6092
Kvæggylle	60	7,5	4,5	0,8	3600	0,21	756	1163
	0	0	0	0,8	0	0,4	0	0
TOTAL	410		21,0		16800		4716	7255
Gennemsnitligt gasudbytte, Nm ³ ch ₄ /ton biomasse							12	
Gennemsnitligt gasudbytte, Nm ³ biogas/ton biomass							18	
Tørstofprocent i tilført							5	

Det fremgår af tabel 4, at gasproduktionen i udgangssituationen er ca. 18 m³ biogas pr. ton gylle behandlet, og at tørstofprocenten er beregnet til ca. 5 med de anvendte forudsætninger.

I tabel 5 vises biomassetilførsel og gasproduktion ved anvendelse af dybstrøelse. I alternativsituationen tilføjer Bånlev 6 ton dybstrøelse om dagen. Det øger det gennemsnitlige gasudbytte med 1 m³ biogas pr. ton behandlet i gennemsnit med de anvendte forudsætninger, og tørstofprocenten øges med 0,5 %.

I tabel 6 vises de anvendte forudsætninger for omkostningsberegningerne. Der er som nævnt investeret ca. 2 mio. kr. i indfødningsystemet, og der behandles dagligt 5-6 ton. Værdierne for forbrug er erfaringstal fra projektet, og den anvendte forudsætning for gasudbytte fra dybstrøelse er målt hos Aarhus Universitet som led i projektet.

Tabel 5. Biomasse og gasproduktion, Bånlev ved forudsat alternativ situation. Daglig mængde

Alternativ	Ton	TS %	Tons TS	VS %	VS kg	CH ₄ /kg VS	CH ₄	m3 biogas
Sogylle	44	3,5	1,54	0,8	1232	0,3	369,6	569
Slagtesvinegylle	300	5,5	16,5	0,8	13200	0,3	3960	6092
Kvæggylle	60	7,5	4,5	0,8	3600	0,21	756	1163
	0	0	0	0	0	0	0	0
Dybstrøelse fra heste	6	27,4	1,6	0,84	1381	0,253	349	538
TOTAL	410		22,6		18181		5065	7793
Gennemsnitligt gasudbytte, Nm ³ ch ₄ /ton biomasse							12	
Gennemsnitligt gasudbytte, Nm ³ biogas/ton biomass							19	
Tørstofprocent i tilført							5,5	

Tabel 6. Anvendte forudsætninger

Målstæning pr år	2000	ton =	5,5 ton pr. dag.
Investering indfødnig	2000000		
Drift og vedligehold (skøn)	1,75 %		
Pasning	32000		
Elforbrug	8 kwh a	0,7	kr/kwh
Levetid	10 år		
rente	8 %		
Værdi af gassen	4,6	kr/m ³ ch ₄	

Ved anvendelse af forudsætningerne i ovenstående tabeller er behandlingsomkostninger og nettoresultat af investeringen beregnet i tabel 7.

Værdien af den ekstra gasproduktion er beregnet til knap 600.000 kr. på årsbasis. Beregningerne viser desuden behandlingsomkostninger på 188 kr./ton. Set i forhold til værdien af den ekstra gasproduktion, opnås et overskud på 105 kr./ ton dybstrøelse, der anvendes.

Resultaterne skal ses i lyset af den relativt beskedne mængde, der behandles i systemet, der har en langt større kapacitet end det, der udnyttes for nærværende. Årsagen hertil er, at der endnu ikke er klarhed over, hvor stor en mængde selve biogasanlægget reelt kan belastes med, uden at det giver driftsmæssige problemer og øgede omkostninger. Resultaterne viser, at investeringen er særdeles rentabel.

Tabel 7. Beregningsresultater Bånlev. Tallene er vist pr. år og pr. ton

Ekstra gasproduktion	127525	m ³	Kr. pr ton
Værdi	586614	kr	293
Eludgift	11200		5,6
Forrentning /afskr. Indfødnig	298059	kr	149
Dr/vedl. Indfødnig	67000	kr	34
Omkostninger i alt	376259	kr	188
Resultat	210355	kr	105

Linkogas

Linkogas har samlet investeret ca. 2 mio. kr. i indfødningsudstyr og tilslutning. Nedenstående økonomiberegninger er delvist baseret på de foreløbige erfaringer, dels er der anvendt skønnede forudsætninger. Den forudsatte udgangssituation for Linkogas vises i Tabel 8.

Tabel 8. Biomasse og gasproduktion, Linkogas i forudsat udgangssituation. Daglig mængde

Kun gylle	Ton	TS %	Tons TS	VS %	VS kg	CH ₄ /kg VS	CH ₄	m ³ biogas
Sogylle	0	3,5	0	0,8	0	0,3	0	0,0
Slagtesvinegylle	300	5,5	16,5	0,8	13.200	0,3	3.960	6092,3
Kvæggylle	550	7,5	41,25	0,8	33.000	0,21	6.930	10661,5
	0	0	0	0	0	0,00	0	0,0
TOTAL	850		57,75		46.200		10.890	16753,8
Gennemsnitligt gasudbytte, Nm ³ ch ₄ /ton biomasse								12,8
Gennemsnitligt gasudbytte, Nm ³ biogas/ton biomasse								19,7
Tørstofprocent i tilført							6,8	

Anlægget forudsættes at behandle i alt 850 ton gylle på daglig basis. Samlet giver det med de her anvendte forudsætninger et biogasudbytte på knap 20 m³ biogas pr. ton biomasse behandlet.

Men hvis 20 % af fx svinegyllen efter investering i indfødningsudstyr erstattes af 50 ton dybstrøelse, ændres produktionen markant. Linkogas har reelt haft en del problemer med fremmedlegemer i forbindelse med anvendelse af dybstrøelse og andre biomasser, men her forudsættes det, at indfødningsystemet kan håndtere den anvendte biomasse i normal drift. Den beregnede gasproduktion ved de anvendte forudsætninger findes i tabel 9.

Tabel 9. Biomasse og gasproduktion Linkogas, ved forudsat alternativ situation. Daglig mængde

Alternativ	Ton	TS %	Tons TS	VS %	VS kg	CH ₄ /kg VS	CH ₄	m ³ biogas
Sogylle	0	3,5	0	0,8	0	0,3	0	0,0
Slagtesvinegylle	250	5,5	13,75	0,8	11.000	0,3	3.300	5076,9
Kvæggylle	550	7,5	41,25	0,8	33.000	0,21	6.930	10661,5
	0	0	0	0	0	0,00	0	0,0
Dybstrøelse	50	30	15	0,8	12.000	0,20	2.400	3692,3
TOTAL	850		70		56.000		12.630	19430,8
Gennemsnitligt gasudbytte, Nm ³ ch ₄ /ton biomasse								14,9
Gennemsnitligt gasudbytte, Nm ³ biogas/ton biomasse								22,9
Tørstofprocent i tilført							8,2	

Ved at sammenholde tabellerne fremgår det, at tørstofindholdet i den indfødte biomasse øges fra 6,8 % TS til 8,2. Med de her anvendte forudsætninger medfører det en øgning af gasudbyttet fra 19,7- 22,9 m³ biogas pr. ton biomasse behandlet i gennemsnit.

Ved beregninger af forbehandlingsomkostningerne er følgende forudsætninger anvendt.

Tabel 10. Forudsætninger for beregning af behandlingsomkostninger

Målsætning	18250	ton på årsbasis = 50 t/dg		
Investering indfødnings	2000000			
Drift og vedligehold (skøn)	10	%		
Pasning	325000			
Elforbrug, kwh pr ton	20	kwh a	0,7	kr/kwh
Levetid	10	år		
rente	8	%		
Værdi af gassen	4,45	kr/m³ ch₄		

Ved anvendelse af disse forudsætninger er behandlingsomkostninger og nettoresultat af investeringen beregnet. Resultaterne vises i tabel 11.

Tabel 11. Beregnede behandlingsomkostninger og investeringens nettoresultat målt pr. år og pr. ton dybstrøelse anvendt.

Ekstra gasproduktion	635100	m³	Kr. pr ton
Værdi	2826195	kr	155
Eludgift	255500		14
Forrentning /afskr. Indfødnings	298059	kr	16
Dr/vedl. Indfødnings	525000	kr	29
Omkostninger i alt	1078559	kr	59
Resultat	1747636	kr	96

Beregningerne viser en behandlingsomkostning for Linkogas på 59 kr./ton dybstrøelse. Det skal understreges, at forudsætningerne hviler på et relativt spinkelt erfaringsgrundlag, herunder at det forudsættes, at indfødningsystemet kan håndtere dybstrøelse nogenlunde tilfredsstillende. Set i forhold

til, at den ekstra værdi af biogas er beregnet til 155 kr. pr. ton dybstrøelse, kan nettoresultatet pr. ton dybstrøelse beregnes til 96 kr. pr. ton. Hvis der i stedet ses på det årlige resultat, der er beregnet til godt 1,7 mio. kr. pr. år, fremgår det, at investeringen, med de her anvendte forudsætninger, er særdeles rentabel.

I beregningerne er imidlertid ikke taget højde for, om den øgede tørstofprocent i anlægget medfører øgede omkostninger andre steder, fx øget behov for omrøring, højere effektforbrug ved pumpning, tilstopninger af rør og veksler og dannelse af flydelag. Omvendt medfører forudsætningen om, at der erstattes gylle, at der ikke skal medregnes øgede omkostninger til opbevaring og udbringning; dog kan der i områder med høj dyreintensitet opstå behov for yderligere omfordeling af næringsstoffer, hvilket kan medføre øgede omkostninger

Vegger

Veggeranlægget har efter ombygningen en behandlingskapacitet på knap 175 tons pr. dag. Uden organisk industriaffald ser biomassegrundlaget ud som det er vist i tabel 12. Det fremgår, at Veggeranlægget uden andre biomasser ville opnå et gennemsnitligt gasudbytte på 14 m³ biogas pr. ton gylle.

Tabel 12. Biomassegrundlag i Vegger uden organisk industriaffald. Daglig mængde

	Ton	TS %	Tons TS	VS %	VS kg	CH ₄ /kg VS	CH ₄	m ³ biogas
Sogylle	50	3,5	1,75	0,8	1400	0,3	420	646
Slagtesvinegylle	50	5,5	2,75	0,8	2200	0,3	660	1015
Kvæggylle	74	7,5	5,55	0,8	4440	0,21	932,4	1434
TOTAL	174		8,3		6640		1592,4	2450
Gennemsnitligt gasudbytte, Nm ³ ch ₄ /ton biomasse							9	
Gennemsnitligt gasudbytte, Nm ³ biogas/ton biomasse							14	
Tørstofprocent i tilført							4,8	

Men efter ombygningen vil anlægget være i stand til at erstatte en del af den dårligste gylle med dybstrøelse og dermed øge tørstofindhold og gasudbytte i anlægget. En beregning for, hvad det betyder, fremgår af tabel 13.

Tabel 13. Biomasse og gasproduktion Vegger, ved forudsat alternativ situation. Daglig mængde

Alternativ	Ton	TS %	Tons TS	VS %	VS kg	CH ₄ /kg VS	CH ₄	m ³ biogas
Sogylle	30	3,5	1,05	0,8	840	0,3	252	388
Slagtesvinegylle	50	5,5	2,75	0,8	2200	0,3	660	1015
Kvæggylle	74	7,5	5,55	0,8	4440	0,21	932,4	1434
Dybstrøelse	20	30	6,0	0,84	5040	0,253	1275	1962
TOTAL	174		14,3		11680		2868	4412
Gennemsnitligt gasudbytte, Nm ³ ch ₄ /ton biomasse							16	
Gennemsnitligt gasudbytte, Nm ³ biogas/ton biomasse							25	
Tørstofprocent i tilført							8,2	

Det springende punkt er naturligvis hvilken effekt forbehandlingen har for det gasudbytte, der kan forventes. Men hvis der som her er forudsat samme relativt høje niveau for gasudbytte, som opnås i Bånlev, vil 20 ton dybstrøelse pr. døgn øge gasudbyttet til 25 m³ biogas pr. ton biomasse behandlet.

De anvendte forudsætninger for omkostningsberegningerne er vist i tabel 14.

Tabel 14. Anvendte beregningsforudsætninger

Målstæning pr år	7300	ton =	20 ton pr. dag.
Investering indfødnings	2500000		
Drift og vedligehold (skøn)	10 %		
Pasning	100000		
Elforbrug	11 kwh	a	0,7 kr/kwh
Levetid	10 år		
rente	8 %		
Værdi af gassen	4,6	kr/m ³ ch ₄	

Det fremgår af tabellen, at de 20 ton dybstrøelse i daglig tilførsel beløber sig til 7300 ton på årsbasis. Eftersom Veggeranlægget også har investeret i en knuser, er den samlede investering lidt højere end for de to andre anlæg.

Endelig vises beregningsresultaterne i tabel 15.

Tabel 15. Beregnede behandlingsomkostninger og investeringens nettoresultat målt pr. år og pr. ton dybstrøelse anvendt.

Ekstra gasproduktion	465419	m3	Kr. pr ton
Værdi	2140926	kr	293
Eludgift	56210		7,7
Forrentning /afskr. Indfødning	372574	kr	51
Dr/vedl. Indfødning	350000	kr	48
Omkostninger i alt	778784	kr	107
Resultat	1362143	kr	187

Det fremgår af tabellen, at fiberfraktionen bidrager med en værdi af gassen på 293 kr. pr. ton fiberfraktion. Behandlingsomkostningerne er med de anvendte forudsætninger beregnet til 107 kr. pr. ton dybstrøelse. Altså et nettoresultat på 187 kr. pr. ton dybstrøelse. Det samlede resultat for investeringen i forbehandlings- og indfødningsudstyr er beregnet til godt 1,3 mio. kr. Altså kan investeringen, om forudsætningerne viser sig, som de her er anvendt, betale sig hjem på to år.

8. Diskussion af resultater af økonomiberegningerne

Alle tre deltagende anlæg har etableret indfødningsystemer med langt større kapacitet, end der i første omgang har været brug for, eftersom alle tre anlæg som udgangspunkt har forventet at tilføre relativt beskedne mængder dybstrøelse. Grunden til det er, at ophobning af flydelag er enhver biogasdriftsleders skræk, og at man har ønsket at begynde på relativt lavt niveau. Men dybstrøelsen synes ikke desto mindre, med baggrund i ovenstående beregninger, at yde et betydeligt bidrag de fleste steder.

Behandlingsomkostningerne er beregnet fra 59-188 kr. per ton dybstrøelse. I alle tre tilfælde er der beregnet et overskud på anvendelsen af dybstrøelse, og rentabiliteten i investeringerne er udmærket. En optimeret kapacitetsudnyttelse vil kunne forbedre resultaterne yderligere. Omvendt er der på grund af sparsomme erfaringer nogen usikkerhed mht. driftsomkostningerne i normal drift, især fra Linkogas` og Veggens vedkommende.

9. Perspektiver for biogasbranchen

I 2013 udførte AgroTech A/S for Energistyrelsen en kortlægning af biomasser til biogasanlæg i Danmark på kort og langt sigt. Heraf fremgik det, at omtrent en tredjedel af den tørstofmængde, der findes i husdyrgødning i landet, foreligger i form af dybstrøelse.

Og eftersom ovenstående beregninger påviser betydelig rentabilitet i anvendelse af dybstrøelse, må det forventes, at mange nye kommende anlæg vil tilføre dybstrøelse. Tabel 16 viser biomassegrundlaget som det kunne se ud for et nyt anlæg med en behandlingskapacitet på 1000 ton baseret udelukkende på flydende husdyrgødning.

Tabel 16. Biomassegrundlag for et 1000 ton anlæg alene på flydende husdyrgødning. Daglig mængde

Kun gylle	Ton	TS %	Tons TS	VS %	VS kg	CH ₄ /kg VS	CH ₄	m ³ biogas
Sogylle	0	3,5	0	0,8	0	0,3	0	0,0
Slagtesvinegylle	600	5,5	33	0,8	26.400	0,3	7.920	12185
Kvæggylle	400	7,5	30	0,8	24.000	0,21	5.040	7754
	0	0	0	0	0	0,00	0	0
TOTAL	1.000		63		50.400		12.960	19938
Gennemsnitligt gasudbytte, Nm ³ ch ₄ /ton biomasse								13,0
Gennemsnitligt gasudbytte, Nm ³ biogas/ton biomasse								19,9
Tørstofprocent i tilført								6,3

Selvom et sådant anlæg er selektivt mht. gylleressourcen, således at der ikke tilføres sogylle, vil et sådant anlæg kun opnå gasudbytter på knap 20 m³ biogas pr. ton behandlet, og vil næppe være rentabelt.

Hvis det samme anlæg i stedet udskiftede 200 ton gylle med dybstrøelse, ville tingene ændre sig radikalt, hvilket fremgår af tabel 17.

Tabel 17. Biomassegrundlag og gasproduktion med 20 % dybstrøelse. Daglig mængde

Alternativ	Ton	TS %	Tons TS	VS %	VS kg	CH ₄ /kg VS	CH ₄	m ³ biogas
Sogylle	0	3,5	0	0,8	0	0,3	0	0
Slagtesvinegylle	500	5,5	27,5	0,8	22.000	0,3	6.600	10154
Kvæggylle	300	7,5	22,5	0,8	18.000	0,21	3.780	5815
	0	0	0	0	0	0,00	0	0
Dybstrøelse	200	30	60	0,8	48.000	0,20	9.600	14769
TOTAL	1.000		110		88.000		19.980	30738
Gennemsnitligt gasudbytte, Nm ³ ch ₄ /ton biomasse								20,0
Gennemsnitligt gasudbytte, Nm ³ biogas/ton biomasse								30,7
Tørstofprocent i tilført								11,0

Ved tilførsel af 20 % af den samlede mængde kan det gennemsnitlige gasudbytte hæves til godt 30 m³ biogas pr. ton biomasse behandlet. Samtidig fremgår det, at tørstofindholdet ved de her anvendte

forudsætninger er steget til 11 % i den biomasse, der tilføres. Det er nu nok i overkanten af, hvad der uden særlige tiltag kan håndteres i selve anlægget, i hvert fald vil det kræve en neddeling, som eksempelvis Veggeranlægget har installeret.

Tabel 18 viser forudsætningerne for beregning af behandlingsomkostninger. Der er taget udgangspunkt i systemet, som er etableret i Vegger med høj kapacitetsudnyttelse.

Tabel 18. Anvendte beregningsforudsætninger

Målsætning	73000	tons på årsbasis		
Investering indfødnings	2500000			
Drift og vedligehold (skøn)	10	%		
Pasning	400000			
Elforbrug, kwh pr ton	20	kwh a	0,7	kr/kwh
Levetid	10	år		
rente	8	%		
Værdi af gassen	4,6	kr/m³ ch₄		

200 ton dybstrøelse om dagen beløber sig til 73.000 ton på årsbasis. Det forudsættes, at det kan håndteres ved fuld kapacitetsudnyttelse med det udstyr, som Vegger har investeret i. Det forudsættes også, at anlægget kan passes af én mand.

Beregningsresultater er vist i tabel 19.

Tabel 19. Beregnede behandlingsomkostninger og investeringens nettoresultat målt pr. år og pr. ton dybstrøelse anvendt.

Ekstra gasproduktion	2562300	m³	kr. pr ton
Værdi	11786580	kr	161
Eludgift	1022000		14
Forrentning /afskr. Indfødnings	372574	kr	5
Dr/vedl. Indfødnings	650000	kr	9
Omkostninger i alt	2044574	kr	28
Resultat	9742006	kr	133

Tabel 19 viser behandlingsomkostninger, der er beregnet til 28 kr. per ton dybstrøelse. Gasudbyttet i denne beregning er særdeles konservativt fastsat. Ikke desto mindre er overskuddet pr. ton dybstrøelse beregnet til 133. kr. Såfremt gasudbyttet i stedet for 0,2 m³ ch₄ pr. kg VS øges til 0,25 vil resultatet pr. ton

fiberfraktion øges til 189 kr. pr. ton dybstrøelse. Med den rette teknologi synes der således at være baggrund for en betydelig udbygning med biogasanlæg baseret på gylle, dybstrøelse og restbiomasser.

10. Konklusioner og anbefalinger

Beregningerne i nærværende rapport viser, at rentabiliteten i investering i forbehandlings- og indfødningssystemer til anvendelse af dybstrøelse til biogasproduktion er ganske attraktiv. Det forudsætter imidlertid, at dybstrøelse leveres frit til anlæggene. Såfremt anlæggene skal betale for at få dybstrøelse leveret, vil resultaterne straks forringes. Grænsen for anvendelsen af dybstrøelse er indtil videre ukendt, ligesom erfaringer med gasudbytter ved forbehandling i kombination med opholdstider mangler.

Det konkluderes, at anlæggene med velfungerende håndterings- og indfødningssystemer langt hen ad vejen kan gøre sig fri af organisk industriaffald, i det mindste så længe der ikke skal betales for råvaren.

Det er således klart muligt at regulere biogasproduktionen. Men for at realisere et fremtidigt potentiale mht. regulering af produktionen på sæson- og døgnbasis skal det formentlig ske med relativt letomsættelige og lagerfaste biomasser som fx majsensilage, roer eller roetopensilage. Dette gælder i særlig grad for ønsket om at regulere på døgnbasis eller "on-demand".

Det anbefales, at der foretages en systematisk monitorering og opsamling af erfaringsdata fra anlæg med systemer til forbehandling og anvendelse af dybstrøelse.

For øjeblikket er der ikke tilstrækkelige økonomiske incitamenter for anlæggene i hverken at sæson- eller døgnvariare produktionen. Det skyldes blandt andet, at det vil kræve etablering af yderligere kapacitet til kraftvarmeproduktion, som vil stå stand by i lange perioder.

Litteratur

Birkmose, T. S., Hjort-Gregersen, K. & Stefanek, K. 2013. Biomasse til biogasanlæg i Danmark, på kort og langt sigt. AgroTech A/S, for Energistyrelsens Biogas Task Force.

Sarker, S. & Møller, H.B. 2011. Boosting biogas production with solid feedstock and storable substrates. 24th Congress of the Nordic Association of Agricultural Scientists in Uppsala 14-16 June 2011.

Sarker, S. & Møller, H.B. 2013. Boosting biogas yield of anaerobic digesters by utilizing concentrated molasses from 2nd generation bioethanol plant. International Journal of Energy and Environment 4, 2, s. 199-210.